

SIMULATOR PENGUJIAN KARAKTERISTIK GENERATOR AC 1 FASA

Dwi Prihanto
FX Budi Rahardjo
Hari Putranto

Abstrak: Studi ini bertujuan memaparkan rekayasa simulator generator-set satu fasa termasuk pengujian karakteristiknya. Simulator ini dapat dipakai sebagai rujukan dalam membuat media belajar bagi program studi Teknik Tenaga Elektrik. Perancangan diawali dengan eksperimen untuk menetapkan spesifikasi teknis dari sejumlah komponen dari sistem yang dibangun, selanjutnya diadakan pengujian untuk mengamati sifat-sifat dari generator uji, yaitu meliputi: (a) uji karakteristik beban nol, (b) uji karakteristik beban, (c) uji karakteristik luar, dan (d) uji karakteristik pengaturan. Kesimpulan yang diperoleh: (a) pada saat beban nol, bertambahnya arus magnetisasi diikuti oleh bertambahnya besarnya tegangan output generator (b) saat generator berbeban, besar tegangan kerja berbanding terbalik dengan drop tegangannya (c) berdasarkan karakteristik luar, semakin besar arus beban maka tegangan pada terminal box akan turun, dan (d) karakteristik pengaturan menunjukkan bahwa AVR (*Automatic Voltage Regulation*) generator uji di antara 490 mA sampai 540 mA. Dengan demikian simulator yang dibuat menunjukkan kinerja yang baik.

Kata Kunci: Karakteristik, Generator AC, 1 Fasa

Generator sinkron adalah suatu mesin yang bertujuan untuk merubah tenaga mekanis menjadi tenaga listrik. Sinkron maknanya serempak dalam artian kecepatan putar rotor (n_2) sama dengan kecepatan medan putar (n_1); jadi $n_1 = n_2$. Konstruksi generator sinkron dibedakan atas: (a) berkutub luar, artinya kutub berada di bagian stator, (b) berkutub dalam, artinya kutub berada di bagian mesin yang berputar (rotor). Kutub dalam dibedakan lagi yaitu (a) kutub menonjol (*salient pole*) dan kutub bulat (*non salient pole*). Ditinjau berdasarkan jumlah fasanya ada mesin 1 fasa dan mesin 3 fasa. Azas generator berdasarkan pada kerja induksi yang ditemukan oleh Faraday, yang telah dibuktikan bahwa pada sebuah belitan akan dibangkitkan GGL bilamana jumlah flux yang dikurung oleh belitan itu berubah. Perubahan GGL selama putaran rotor digambarkan secara grafis oleh garis lengkung sinus. Satu perubahan tegangan yang sempurna dinamakan periode, waktu yang diperlukan dinyatakan dengan huruf T. Hubungan antara frekuensi (f), jumlah putaran (n) dan jumlah kutub (P), dinyatakan dalam persamaan (1).

$$f = \frac{Pn}{120} \text{ Hz} \quad (1)$$

Untuk menganalisa keandalan & unjuk kerja dari suatu generator, perlu diperiksa terlebih dahulu karakteristik mesin tersebut. Berdasarkan kurva karakteristik dapat diketahui karakter atau sifat mesin yang bersangkutan termasuk, efisiensi serta batasan regulasi tegangannya. Untuk membangun simulator uji karakteristik, yang dikembangkan adalah satu set motor-generator dengan kelengkapan inverter untuk mengatur putaran motor, catu daya dc variable untuk mencatu daya pada kutub generator, sarana pemutus/pengaman, dan tahanan air untuk beban generator. Pengujian dilakukan pada 4 kondisi yaitu: (a) karakteristik beban nol (b) karakteristik berbeban; (c) karakteristik luar, dan (d) karakteristik pengaturan.

Pengujian beban nol yang diamati adalah perubahan ggl E_o pada setiap kenaikan arus penguat medan (I_m) mulai dari nol sampai harga nominalnya, dan sebaliknya dari harga nominal I_m sampai $I_m=0$, pada putaran tetap atau dapat ditulis $E_o = f(I_m)$; $n = \text{konstan}$. Pengujian generator berbeban yang diamati ada

lah keterkaitan antara tegangan jepit (E_k) sebagai fungsi kuat arus medan (I_f), pada beban yang tetap, putaran tetap, dan $\cos \phi$ tetap yang diamati adalah perubahan tegangan E_k , atau dapat ditulis $E_k = f(I_m)$; $I_L = \text{konstan}$; $n = \text{konstan}$. $\cos \phi$ tetap.

Pengujian karakteristik luar, mengamati keterkaitan antara tegangan jepit E_k sebagai fungsi kuat arus beban (I_L), pada kuat arus medan yang tetap, putaran tetap, dan $\cos \phi$ yang tetap. Pengujian karakteristik pengaturan pada generator sinkron menunjukkan adanya keterkaitan antara kuat arus medan sebagai fungsi dari kuat arus beban, pada kondisi tegangan jepit yang konstan, jumlah putaran konstan, dan $\cos \phi$ yang konstan pula.

Model pengembangan simulator pengujian karakteristik generator 1 fasa digambarkan secara blok diagram seperti pada Gambar 1. Perancangan diawali dengan menetapkan spesifikasi teknis dari generator (6) yang akan diuji karakteristiknya, yaitu berkapasitas 1 KW, 3000 ppm (putaran per menit), 110 V. Selanjutnya ditetapkan motor induksi (5) dengan spesifikasi: 3 fasa, 2,2 KW, 2940 ppm yang berfungsi sebagai penggerak generator.

Inverter (3) berkapasitas 2,2 KW sebagai alat untuk mengatur kecepatan putaran motor, catu daya DC (4) kapasitas: 0,5 KVA, 220Vac/0-48 Vdc, yang berfungsi sebagai sumber penguatan kutub pada generator. Antara motor-generator digandeng dengan menggunakan V-Belt, dan ditempatkan pada suatu landasan baja yang kokoh. Guna memperoleh keamanan dan keselamatan kerja, pada sistem yang dibangun dilengkapi dengan sarana pengaman (2) yang berfungsi sebagai pemutus hubungan dari jala-jala PLN (1) bila pada sistem terjadi gangguan. Perancangan dan pembuatan sistem beban R variable (7) yaitu berupa: tahanan air.

METODE

Kegiatan ini termasuk jenis penelitian pengembangan, dengan prosedur atau

langkah-langkah yang ditempuh dalam membuat produk diawali dengan (a) teknik perancangan, (b) observasi pasar untuk penyiapan bahan yang spesifik, (c) perakitan media dan dilanjutkan (d) pengujian untuk memformulasikan karakteristik generator AC 1 fasa, uji coba sistem motor-menerator, dimaksudkan untuk mengumpulkan data yang dapat digunakan sebagai dasar untuk mengetahui sifat-sifat dari mesin yang diuji, sehingga dapat menetapkan tingkat efisiensi, keefektifan alat-alat pengaman, serta beban. Apabila dari hasil uji-coba ini ternyata masih belum bisa menghasilkan rentangan data yang akurat (sesuai dengan rancangan), maka diadakan peninjauan kembali rancangan sebelumnya, kemudian diadakan perbaikan dan diadakan uji-coba kembali sampai memperoleh unjuk kerja yang optimal.

Desain uji-coba pengoperasian sistem motor generator sebagai berikut: (a) menghubungkan sistem ke jala-jala (1) dari sarana penghubung (2), motor berputar dengan kecepatan 2940 ppm, cek putaran dengan menggunakan tachometer, kemudian aturlah putaran motor melalui selector switch pada inverter (3) sampai mencapai putaran 1500 ppm; (b) dalam keadaan generator belum dibebani, periksalah tegangan output generator, menggunakan volt meter AC (8), tepatkan harga tegangan nominal 110 Vac, dengan cara mengatur arus penguatan kutub melalui selector switch yang terletak pada catu daya DC (4); (c) hubungkan beban (7) ke terminal output generator, cek arus beban menggunakan ampere meter (8). Aturlah beban dengan ketentuan kuat arus beban jangan melebihi 80 % arus nominal generator; (d) setelah generator dibebani, akan terjadi perubahan nilai putaran mesin, dari kondisi beban kosong. Hal ini merupakan tahap yang menentukan untuk mendapatkan unjuk kerja pengujian karakteristik generator AC 1 fasa.

Uji coba produk pengembangan dilakukan melalui tiga tahapan uji coba, yaitu (a) uji coba pada putaran nominal, yaitu 3000 ppm, (b) uji coba pada putaran 2500 ppm, dan (c) uji coba pada putaran 2000 ppm. Data yang diperoleh dalam uji coba produk berupa data kuantitatif, jenis data rasio yaitu berupa harga-harga: (a) tegangan output generator, (b) arus putaran kutub, (c) Kuat arus beban, dan (d) putaran generator.

Teknik pengumpulan data dilakukan dengan mengadakan eksperimen atau pengujian terhadap aspek yang diteliti yaitu macam-macam karakteristik pada generator AC 1 fasa, di antaranya adalah: (a) pengujian karakteristik beban nol; (b) pengujian karakteristik beban; (c) pengujian karakteristik Luar; dan (d) pengujian karakteristik pengaturan. Dari keempat karakteristik generator AC 1 fasa, penjabaran datanya dapat diperiksa pada Tabel 1.

Tabel 1. Jabaran Data

No	Besaran Yang diukur	Var. Bebas	Var. Terikat	Var. Kontrol
1	Beban Nol	Im	Eo	n
2	Berbeban	Im	Ek	n ; IL
3	Luar	IL	Ek	n
4	Pengaturan	IL	Im	n ; Ek

Pelaksanaan eksperimen berupa pengujian karakteristik generator ac 1 fasa, strateginya sebagai berikut: (a) dari Table 1 dapat dilihat bahwa dari keempat macam pengujian, putaran poros (n) adalah merupakan variable kontrol; (b) untuk memeriksa linieritas rangkaian, maka pada tiap point pengujian karakteristik, dilakukan tiga variasi kecepatan putaran generator, (c) dengan demikian untuk setiap macam pengujian ditampilkan 3 kurva karakteristik; dengan variasi kecepatan putar.

Pengujian karakteristik generator 1 fasa dalam keadaan tanpa beban, langkah-langkahnya adalah sebagai berikut: (a) Buatlah rangkaian seperti Gambar 2; (b) pada terminal generator pasanglah volt

meter, dan pada kumparan medan generator dipasang milliamperemeter dc yang tersambung secara seri/deret. (c) hubungkan motor listrik ke jala-jala untuk memutar generator. (d) atur putran genertor pada kecepatan (n) = 2000 ppm, dengan cara memutar *selector switch* pada *inverter* (e) pengujian dimulai dari $I_m = 0$, menghasilkan $E_o = 0$, catatlah. (f) Putarlah *selector swith* pada suplai daya dc, untuk memberikan arus penguatan kutub generator, kemudian periksalah penunjukkan Volt meter yang dipasang pada terminal output generator, catatlah. (g) setiap tahap kenaikan arus penguatan kutub, selalu diikuti oleh kenaikan tegangan pada terminal output generator. Catatlah nilai arus penguatan kutub & nilai kenaikan tegangan output generator tersebut (h) setiap tahap pengujian selalu diikuti dengan pemeriksaan putaran generator. Hal ini dilakukan untuk memastikan bahwa putaran generator dalam kondisi konstan/ tetap. (i) untuk memperoleh data yang akurat, dalam pengujian ini juga dilakukan pencatatan pada waktu pengaturan I_m menurun. (j) ulangi pengujian tersebut catatlah hasil pembacaan volt meter yang dipasang pada terminal output generator; (k) lakukan hal yang sama untuk kecepatan sinkron yang berbeda. Catatlah nilai tegangan output generator; (l) berdasarkan data pengujian beban nol, gambar kurva karakteristik beban nol pada putaran yang berbeda.

Pengujian sifat generator AC 1 fasa dalam keadaan berbeban, langkahnya hampir sama, hanya di sini ditambahkan rangkaian beban pada terminal output generator. Langkahnya adalah sebagai berikut: (a) buatlah rangkaian seperti Gambar 2 dengan memasang tahanan variabel diseri dengan ampere meter (b) Atur nilai I_m pada putaran generator (n) 2000 ppm dan $I_L = 1$ ampere, yang akan menghasilkan $E_k = f(I_m)$, catatlah penunjukan volt meter. (c) Lakukan pengujian sampai dengan 6 tahap. (d) Disamping

pencatatan pengaturan I_m naik, juga dilakukan pencatatan pada waktu pengaturan I_m menurun. (e) Ulangi pengujian tersebut pada nilai putaran yang berbeda. (f) Berdasarkan data pengujian berbeban gambarkan kurva karakteristik beban, pada putaran yang berbeda.

Pengujian karakteristik luar, dan pengaturan Gambar rangkaiannya sama dengan pengujian berbeban, sedangkan langkahnya identik dengan pengujian karakteristik beban dengan memperhatikan variable uji pada Tabel 1.

HASIL

Data-data hasil pengujian meliputi data pengujian karakteristik beban nol, berbeban, luar, dan pengaturan ditunjukkan pada Tabel 2, 3, 4 dan 5 pada lampiran.

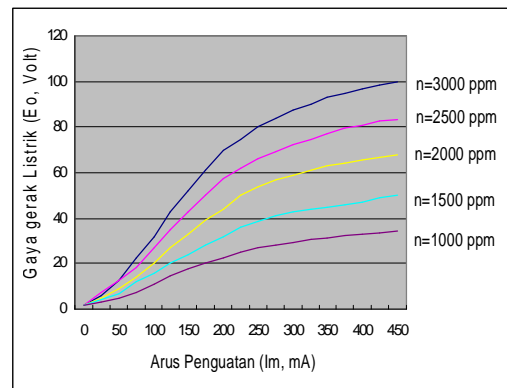
PEMBAHASAN

Berdasarkan data pada Tabel 2, dapat dilukis kurva karakteristik beban nol seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Dari kurva ini dapat dianalisis bahwa pada saat $I_m = 0$, terdapat tegangan $E_o \neq 0$, tetapi pada output generator sudah ada tegangan sebesar $(E_o) = 2$ volt. Hal tersebut dikarenakan adanya energi magnet yang tersisa pada saat putaran generator ditambah, sedang arus magnetisasi konstan (misal $I_m = 25$ mA), maka tegangan pada output generator akan bertambah. Hal tersebut dikarenakan putaran generator berbanding lurus dengan besar tegangan output generator, sesuai dengan persamaan: $E_o = C.n.\Phi$ Volt. Pada saat arus magnetisasi (I_m) dinaikkan, sedangkan putaran generator dipertahankan konstan, maka tegangan output generator akan bertambah besar. Hal ini sesuai dengan persamaan $\Phi = f(I_m)$.

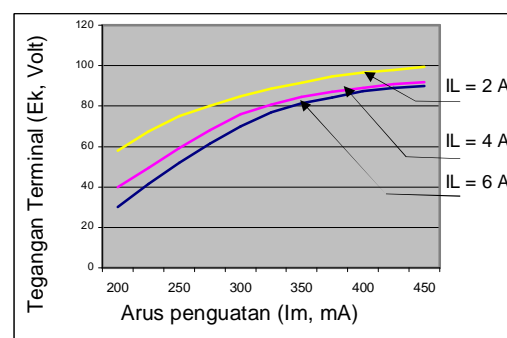
Berdasarkan kurva karakteristik beban nol, mula-mula grafik tegangannya linear, artinya bertambahnya arus magnetisasi diikuti oleh bertambah besarnya tegangan output generator.

Bila arus magnetisasi ditambah terus pada suatu nilai I_m tertentu, ternyata tegangan output generator tidak banyak bertambah, yang ditunjukkan oleh kurva yang melengkung dan akhirnya mendatar. Hal ini dikarenakan terjadi kejenuhan (saturasi) pada inti magnet utama.

ngan output generator tidak banyak bertambah, yang ditunjukkan oleh kurva yang melengkung dan akhirnya mendatar. Hal ini dikarenakan terjadi kejenuhan (saturasi) pada inti magnet utama.



Gambar 3 Kurva karakteristik beban nol

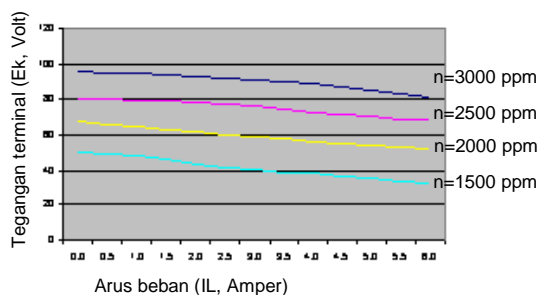


Gambar 4 Kurva karakteristik beban

Berdasarkan data-data pada Tabel 3, dapat dilukis kurva karakteristik beban seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Bila dibandingkan antara kurva karakteristik beban dengan kurva karakteristik beban nol, ternyata bahwa jalannya garis garis lengkungnya adalah sejajar. Ini mengindikasikan bahwa pada harga-harga tertentu kenaikan arus penguatan medan diikuti oleh kenaikan tegangan klem. Ketiga kurva karakteristik beban, dapat dibandingkan bahwa pada pembebanan yang besar (misal 6 A) dengan kuat arus medan yang sama (misal 200 mA), tegangan klem adalah lebih rendah (yaitu hanya 30 V), dibandingkan pada pembebanan 2 Ampere (yaitu mencapai : 58 V) dan pada pembebanan 4 A (terbaca $E_k =$

40 V). Hal ini mengindikasikan bahwa pembebanan yang besar menyebabkan tegangan klem menjadi turun. Bila dikaji pada arus medan yang terbesar (yaitu pada $I_m = 450$ A), ternyata perbedaan tegangan klem tidak jauh berbeda, yaitu: (a) pada $I_L = 6$ A didapat $E_k = 90$ V; (b) pada $I_L = 4$ A didapat $E_k = 92$ V; dan (c) pada $I_L = 2$ A, didapat $E_k = 99,5$ V. Selisih tegangannya (antara $I_L = 6$ A & $I_L = 2$ A) hanya 9,5 V, Sedangkan pada saat $I_m = 200$ mA, selisih tegangannya (antara $I_L = 6$ A & $I_L = 2$ A) adalah 28 V. Hal ini mengindikasikan bahwa semakin besar tegangan kerja, maka drop tegangannya semakin kecil.

Berdasarkan data-data pada Tabel 4, dapat dilukis kurva karakteristik luar seperti ditunjukkan pada Gambar 5. Karakteristik luar memberikan keterkaitan antara tegangan jepit (E_k) sebagai fungsi kuat arus beban (I_L), pada arus medan tetap, putaran tetap, $\cos \phi$ tetap. Berdasarkan kurva karakteristik luar dapat dibaca bahwa keempat lengkung kurva turun secara linear dan sejajar satu sama lainnya. Hal ini mengindikasikan bahwa semakin besar arus pembebanan akan berdampak menurunnya nilai tegangan pada jepitan.



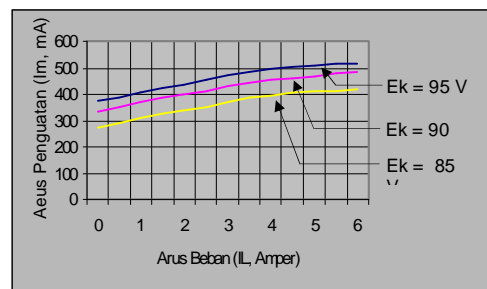
Gambar 5 Kurva karakteristik luar

Secara teoritis kurva ini melukiskan persamaan E sebagai berikut:

$E_k = E - (R + jX) I_L$; dimana R adalah tahanan lilitan generator dan beban, X adalah reaktansi bocor & reaktansi beban. Berdasarkan persamaan ini menunjukkan bahwa semakin besar arus beban (I_L) mengalir, berarti E dikurangi kerugian

impedansi yang makin besar, sehingga nilai tegangan E_k turun.

Kurva karakteristik pengaturan, ditunjukkan pada Gambar 6 yang mengkonfigurasi adanya keterkaitan antara kuat arus medan sebagai fungsi kuat arus beban, pada tegangan terminal tetap, putaran tetap, $\cos \phi$ tetap. Berdasarkan kurva karakteristik pengaturan di atas, dapat dibaca bahwa: (a) pada tegangan klem (E_k) = 85 volt. Bila generator memperoleh pembebanan antara 0 ÷ 6,2 ampere, diperlukan arus penguatan di antara: (275 ÷ 430) mA; (b) pada tegangan klem (E_k) = 90 volt. Bila generator memperoleh pembebanan antara 0 ÷ 6,2 ampere, diperlukan arus penguatan di antara: (340 ÷ 490) mA, dan (c) pada tegangan klem $E_k = 95$ volt. Bila generator dibebani antara 0 ÷ 6,2 ampere, diperlukan arus penguatan di antara: (375 ÷ 540) mA.



Gambar 7 Kurva Karakteristik Pengaturan

Kurva yang hampir mendatar ini menunjukkan bahwa beban bersifat resistif. Untuk meregulasi tegangan klem antara (90 ÷ 95) volt, diperlukan arus penguatan medan antara (490 ÷ 540) mA.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisis dapat ditarik kesimpulan bahwa: (a) berdasarkan kurva karakteristik beban nol bahwa pada saat $I_m = 0$, terdapat tegangan output generator sebesar (E_o) = 2 volt. Hal tersebut dikarenakan adanya energi magnet yang tersisa. (b) pada saat putaran generator ditambah, sedang arus magnetisasi konstan, maka tegangan pada output generator akan bertambah. Hal tersebut

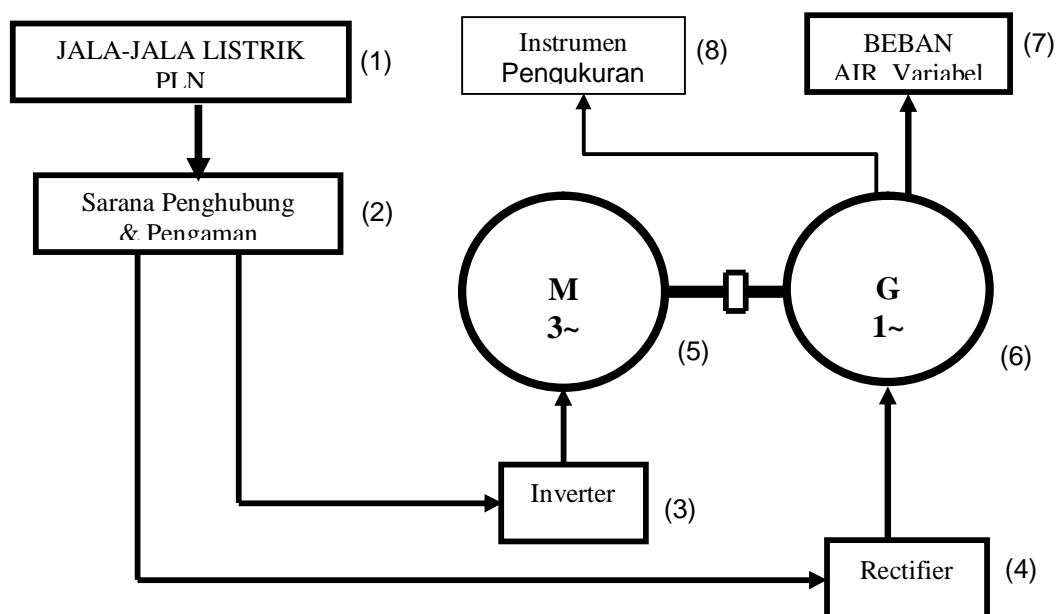
dikarenakan putaran generator berbanding lurus dengan besar tegangan output generator, sesuai dengan $E_o = C.n.\Phi$ Volt. (c) berdasarkan karakteristik beban, bahwa semakin besar tegangan kerja, maka drop tegangan semakin kecil. (d) berdasarkan karakteristik luar bahwa semakin besar arus beban (I_L) yang mengalir, tegangan pada terminal box (E_k) akan turun. (e) karakteristik pengaturan dapat digunakan untuk pedoman merencanakan AVR (automatic voltage regulation.)

Saran Pemanfaatan, Dimensi, dan Pengembangan Produk lebih lanjut, di antaranya adalah: (a) Media yang berupa simulator pengujian karakteristik pada generator AC 1 fasa ini, dapat digunakan oleh mahasiswa dalam mendalami masalah sifat-sifat generator arus bolak balik. Utamanya media ini disiapkan untuk praktikum dalam matakuliah mesin listrik. (b) Pengujian karakteristik yang belum diuji di sini adalah karakteristik hubungan singkat dan karakteristik rendemen. (c) Pemanfaatan media ini yang perlu dicermati: (1) daya generator 1000 w, 100 volt, 50 Hz. Tegangan belitan medan 24 Vdc. Arus

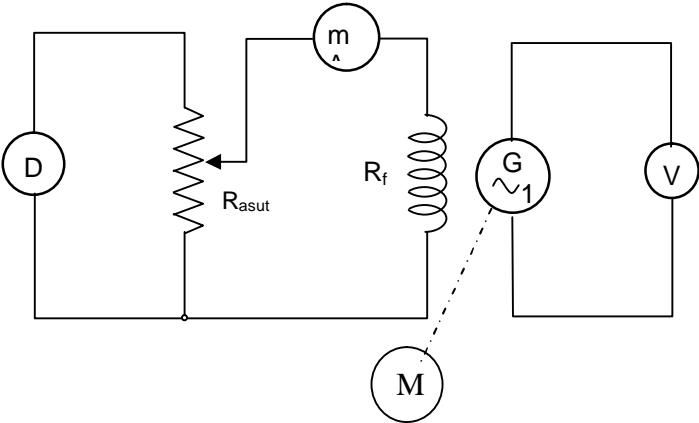
medan max 600 mA, Arus beban dalam pengujian adalah 80 % arus nominal, 6,5 ampere. (d) Pengembangan produk lebih lanjut adalah membuat perancangan simulator untuk pengujian generator dc.

DAFTAR RUJUKAN

- Badan Standardisasi Nasional. 2000. Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000. Jakarta: Yayasan PUIL
- Baslim Abbas, 1952. Mesin Arus Bolak-Balik. Jakarta: H..Stam
- Djoko Achyanto, 1984. Mesin-Mesin Listrik. Jakarta: Erlangga
- Kuhlmann, 1950. Design of Electrical Apparatus. New York: John Wiley & Sons, Inc
- P3 GT, 1981 Lembar Kerja Pengukuran Listrik 2, Bandung: Dikbud
- Suparno, 1979. Mesin Listrik 2. Jakarta: Dikbud
- Sawhney, A.K., 1978. Elektrical Mahine.. Nai Sarak, Delhi: Dhanpat Rai & Sons



Gambar 1 Blok Diagram Simulator Pengujian Generator AC 1 Fasa



Gambar .2 Rangkaian pengujian beban nol

Tabel 2 Tabulasi Data Pengujian Karakteristik Beban Nol

Im (mA)	Eo (Volt)				
	n ₁ =3000 ppm	n ₂ =2500 ppm	n ₃ =2000 ppm	n ₄ =1500 ppm	n ₅ =1000 ppm
0	2	2	2	2	2
25	7,5	6	5	4	3
50	13	13	9	7	5
75	22,5	18,5	14	12	7,5
100	32	27	20	16	11
125	43	35	27	20	14,4
150	52	42,6	33	24	17,5
175	61,1	50,4	39	28	20
200	69,6	57,4	44	32	22,9
225	75	62	50	36	25
250	80	66	54	38,5	27
275	84	69	57	41	28
300	87,6	72	59	43	29,2
325	90	74,7	61	44	30,7
350	93	76,9	63	45	31,4
375	95,2	79,8	64,5	46	32,6
400	96,9	81,1	65,7	47,2	33,3
425	98,8	82,5	67	48,7	33,5
450	100	83	68	50	34

Tabel 3. Tabulasi Data Karakteristik Berbeban, untuk putaran 3000 ppm

Im (mA)	Ek (Volt)		
	IL = 6 A	IL = 4 A	IL = 2 A
200	30	40	58
225	41,6	49,4	67,5
250	52	59,1	75
275	61,5	68	80
300	69,9	76	85
325	77,1	80,8	88,6
350	81,4	84,5	91,7
375	84,4	87	94,7
400	87,4	89	96,5
425	89	90,9	98
450	90	92	99,5

Tabel 4 Tabulasi Data Pengujian Karakteristik Luar

IL (Amp)	Ek (Volt)			
	$n_1=3000$ ppm	$n_2=2500$ ppm	$n_3=2000$ ppm	$n_4=1500$ ppm
0	96	80	68	50,3
0,5	95	80	66	49,5
1	94,5	79	64,6	48
1,5	94	79	63,2	46
2	92,6	78	61,8	44
2,5	92	77	60,4	42
3	91,2	76	59	40,3
3,5	90	74,7	57,9	39
4	89	73	56,5	37,5
4,5	87	71,6	55,4	36
5	85	70,2	54	35
5,5	83	69	53	33
6	81	69	52	31,5

Tabel 5 Tabulasi data pengujian karakteristik pengaturan

IL	Arus Penguatan (Im, mA)		
	Ek = 95 V	Ek = 90 V	Ek = 85 V
0,0	375	340	275
1,0	388	354	290
2,5	436	397	340
3,0	448	407	350
3,5	466	426	372
4,0	486	445	387
4,5	502	463	400
5,0	511	469	407
5,5	517	476	415
5,8	524	481	421
6,0	530	484	426
6,2	540	490	430